Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FI DE GRAU

TÍTOL: **Desarrollo de un sistema de Adquisición de datos inteligente conforme a la norma IEEE Std. 1451.4**

AUTOR: JOSE ANTONIO SORIANO GARCÍA

TITULACIÓ: ENGINYERIA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA

DIRECTOR: JOAQUÍN DEL RÍO FERNÁNDEZ

DEPARTAMENT: ELECTRÓNICA

DATA: 01/07/2013

INDICE

Resumen 6

Abstract 6

Palabras clave 7

Keywords 7

Capítulo 1: Introducción 8

1.1 Objetivos del proyecto 8

1.2 Justificación 8

Capítulo 2: IEEE 1451.4 9

2.1 Precedentes y necesidad 9

2.1.1TransducterElectronicDataSheet (TEDS) 10

2.1.2 Ejemplos de utilización de IEEE 1451.4 11

2.2 Introducción sensores plug&play IEEE 1451.4 13

2.2.1 TEDS para Auto-Identificación de Sensores 14

2.2.2. Interfaz IEEE 1451.4 de Modo Mixto: TEDS Clase I y Clase II 15

2.2 La estructura de los TEDS 17

2.2.1 Basic TEDS 18

2.3 Plantillas estándar para los TEDS 19

Capítulo 3: Desarrollo del sistema de adquisición 20

3.1 Hardware utilizado 20

3.1.1 NI SC-2350 20

3.1.2 Entrada de acelerómetro SCC-ACC01 21

3.1.3 EEPROM DS-2431 22

3.1.4 Sensor Brüel&Kjaer Accelerometer 4508 B003 23

3.1.5 NI PCI-6221 25

3.2 Software utilizado 26

3.2.1 LabView 26

3.2.2 Measurement and Automation Explorer (MAX) 30

3.3 Incidencias durante el desarrollo 30

3.3.1 Problemas encontrados 30

3.3.2 Solución planteada 30

Capítulo 4: Desarrollo TEDS clase 2 32

4.1 Conexionado físico 32

4.1.2 Escritura en la memoria 36

4.1.3 Lectura de la memoria 38

4.2 Programación de la memoria 41

4.2.1 Diseño del programa de escritura en la memoria 42

4.2.1 Resumen programación lectura de la memoria 44

Capítulo 5: Conclusiones 45

5.1 Resultados encontrados 45

5.2 Mejoras propuestas.....46

Capítulo 6: Glosario.....48

6.1 Definiciones.....48

6.2 Acrónimos.....49

Capítulo 7: Bibliografía.....50

Resumen

Actualmente existen estándares para el diseño de sistemas de adquisición como es el Standard for Smart Transducers IEEE Std. 1451.Más concretamente, y para la adquisición de datos de sensores analógicos se define el IEEE. Std 1451.4. Este documento da las bases para la utilización de los "Transducer Electronic Datasheet" con adquisición analógica.

Los TEDS son datasheets electrónicos que se encuentran dentro del sensor y los cuales pueden ser recogidos mediante un programa externo sin necesidad de estar en formato físico, otorgando al sensor una habilidad de "auto-identificación" que puede solventar alguno de los problemas más comunes que los sensores analógicos tienen como la pérdida de calibración o la dificultad de la identificación en una caja con numerosos sensores; también, gracias a los TEDS se produce un ahorro no despreciable de la cantidad de papel y recursos naturales en general debidos a la impresión de numerosos datasheets en formato físico (por pérdidas o recambios).

Este trabajo pretende profundizar en la norma IEEE 1451.4 y desarrollar un diseño electrónico basado en una memoria no volátil EEPROM para almacenar el contenido del TEDS de un sensor genérico, además de poder realizar la adquisición mediante un programa (utilizando LabView) y de esta forma demostrar que con cualquier tipo de sensor genérico nos podemos beneficiar de la norma IEEE 1451.4 y las ventajas que ella conlleva.

Abstract

Nowadays, there are data acquisition design standards such as the "Standard for Smart Transducers IEEE Std. 1451". Specifically, IEEE 1451.4 is defined in order to acquire the data of analog sensors. This document shows the basis for using the "Transducer Electronic Datasheet".

TEDS are electronic datasheets, they are contained inside the sensors and could be acquired by external programs without being in physic format. In fact, a sensor with TEDS has the skill of "self-identification" which can solve the most common problems in analog sensors such as the lack of calibration and the difficulty of the identification in a crowded box of sensors. In addition, TEDS saves lots of paper and natural resources in general because they do not need datasheet in physical format and, actually, fewer copies of these documents are needed.

This document wants to show the standard IEEE 1451.4 and develop an electronic design based on an EEPROM memory in order to upload TEDS information of a generic sensor. Next, it will make the acquisition with LabView. Thus, this project will demonstrate that with any kind of generic sensor, we could also benefit of the IEEE 1451.4 advantages.

Palabras clave

TEDS	Datasheet	IEEE	Sensor	Adquisición
Datos	Transductor	Memoria	EEPROM	LabView

Keywords

TEDS	Datasheet	IEEE	Sensor	Acquisition
Data	Transducer	Memory	EEPROM	LabView

Capítulo 1: Introducción

1.1 Objetivos del proyecto

El objetivo del TFG es el desarrollo de un sensor genérico conforme a la norma IEEE1451.4, su sistema de adquisición de datos asociado basado en plataforma PC y tarjeta de adquisición de datos compatible, y el desarrollo de la aplicación software encargada de la comunicación (escritura y lectura del Transducer Electronic DataSheet, TEDS), la adquisición y presentación de los datos del sensor.

1.2 Justificación

Como veremos a continuación la norma IEEE1451.4 nos abre un abanico tremendo de posibilidades y soluciones a diversos problemas que los sensores analógicos nos plantean. Así pues éste trabajo se justifica en dar un soporte a problemas encontrados tales como la descalibración de los sensores o la auto-detección de ellos sin necesidad de ningún operario ni "datasheet" en formato físico.

Pero no solo deberíamos centrarnos en las soluciones directas que la norma IEEE1451.4 plantea sino que podríamos adentrarnos más y pensar en la reducción sistemática de papel para los datasheet (y todas las copias necesarias debido a pérdidas o mal uso de ellos). De esta manera se nos plantea una nueva justificación que es la del respeto al medio ambiente y la utilización de menos recursos naturales en un sector tan generalizado y con tanto uso como son los sensores analógicos.

Como última justificación está la mejora en seguridad que un sensor auto-reconocible puede brindar en entornos de seguridad crítica como pueden ser los ensayos de fusión/fisión nuclear o entornos en condiciones extremas.

Capítulo 2: IEEE 1451.4

2.1 Precedentes y necesidad

Actualmente es difícil encontrar algún aspecto de nuestra vida en el que no haya algún sensor cuidando de que todo actúe como debe hacerlo, estos pequeños dispositivos nos ayudan de mil maneras algunas tan inocentes (pero necesarias) como si una nevera esta demasiada fría; otras tan importantes para nuestra salud y seguridad como si un reactor nuclear está operando de forma segura. Sin embargo, los sensores tienen un pequeño problema escondido: con demasiada facilidad fallan sin que ni siquiera ellos mismos sepan que ocurre, así que pueden estar reportando que todo está bien cuando, en realidad, la leche se ha convertido en helado o el reactor del sistema es inestable. Ese pequeño problema de los sensores analógicos (los más usados hoy en día) es la calibración, el proceso mediante el cual los datos de un sensor se ajustan a las condiciones reales.

Es en este momento cuando nos encontramos con una nueva solución, la norma IEEE 1451.4. Esta norma se basa en la robustez y la rentabilidad garantizada de sensores análogos con la inteligencia de los equipos digitales. Ahora, ¿qué significa eso en la práctica? Un montón de cosas, uno de los aspectos más importantes de 1451.4 es que ofrece una interfaz estándar y el protocolo por el que un sensor puede describirse a través de una red. Con el advenimiento y la adopción de la red inteligente y los sensores inalámbricos, la noción de auto-identificación de dispositivos puede parecer bastante elemental, pero esto ha tomado más de una década en llegar a los sensores analógicos.

Los sensores analógicos persisten en un mundo digital gracias a que son baratos, extremadamente fiables y resistentes. En pocas palabras, ellos pueden medir una magnitud que dañaría o destruiría un sensor digital. En ambientes peligrosos, como el interior de un motor de un automóvil o en las profundidades de un aceite, son a menudo los lugares en los que se requiere poner los sensores.

IEEE 1451.4 corrige una de las fuentes más comunes de error del sensor: información incorrectamente transcrita de la calibración de las hojas de datos del sensor. Los sensores analógicos típicamente tienen una tensión de salida proporcional a la magnitud a medir independientemente de para cual fue diseñado y aunque los sensores sean fáciles de conectar a

un sistema que monitorea la tensión de salida, cuando un sensor de temperatura registra 2.5 volts, tenemos que conocer cómo convertir esa tensión a la temperatura real, ya sea a 100 ° C, 50 ° C, o 2500 ° C.

Hasta ahora, la única manera de saber eso era mirando la hoja de datos del sensor (datasheet), un documento suministrado por el fabricante que detalla la forma de calibrar el sensor correctamente. Alguien tiene que ingresar la información de esta hoja de datos al sistema, el cual normalmente es un PC. Un solo error humano puede hacer que un sensor y toda la información que adquiere, sea inútil.

Este fue el impulso para el estándar 1451.4, desarrollado por el IEEE en conjunto con empresas como Aeptec Microsystems, Bruel&Kjaer, Ballesta Tecnología, y National Instruments Corp, así como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología y la Fuerza Aérea de EE.UU., entre otros. La norma se basa en el concepto de transductor electrónico de hoja de datos, o TEDS.

2.1.1TransducterElectronicDataSheet (TEDS)

TEDS describe los requerimientos de la interfaces de los sensores eléctricos, como el hardware de toma de datos debe ser configurado para leer el sensor de manera correcta y le informa al sistema de adquisición como escalar la tensión de salida analógica correctamente en las unidades que corresponden a la propiedad física que se mide, como grados Celsius. Haciendo esto automáticamente, de una sola vez, un dispositivo compatible elimina la posibilidad de error humano en la transcripción de la hoja de datos.

La parte central de 1451.4, es el uso de una memoria digital de solo lectura (EEPROM) de chips incorporados en el sensor analógico que almacena la hoja de datos del sensor, así como la información que identifica al sensor, como su tipo, fabricante y un número de serie. Cuando se conecta a un 1451.4 habilitada la adquisición de datos, el chip EEPROM transmite el TEDS al sistema, de una manera similar a un mouse USB o la impresora, identificándose al PC después de ser conectada.

El estándar, sin embargo, no determina donde el chip EEPROM se debe colocar en relación al sensor analógico más resistente. El chip puede ser colocado en el interior de la cubierta del sensor, en el conector del sensor que se conecta al equipo de toma de datos, o incluso en el

interior del cable del sensor. Esto permite que el sensor analógico todavía sea colocado en ambientes peligrosos, con el chip EEPROM colocado en ambientes menos peligrosos por lo general en el otro extremo del cable.

2.1.2 Ejemplos de utilización de IEEE 1451.4

Para ver lo poderoso que es el 1451, considerar el problema que enfrenta el estado de Ohio, que tiene que construir y mantener carreteras que deben soportar condiciones extremas del invierno. Para investigar la durabilidad de los materiales usados en la construcción de carreteras, el instituto de investigación de Ohio para el transporte y el ambiente en la universidad de Ohio, en Atenas, estudia el rendimiento de los pavimentos mediante la incorporación de sensores en los caminos. Los sensores analógicos miden la tensión, la carga, y la deformación en el pavimento. Debido a las condiciones ambientales y las limitaciones de costo, los sistemas de adquisición de datos y los sensores digitales son impracticables. En cambio, el equipo de Ohio decidió utilizar un sistema portable de adquisición de datos que podría ser transportado a cada uno de los sitios de monitorización y conectado a los sensores embebidos.

Uno de los mayores desafíos del proyecto ocurre cuando el sistema portable llega un sitio. Los sensores deben ser conectados al sistema para llevar a cabo una prueba, pero con los sensores de la carretera ¿cómo puede el equipo distinguir qué cable pertenece a los distintos sensores? Se podría escribir una etiqueta para cada uno de los cables, pero los investigadores se dieron cuenta que aunque los extremos de los cables terminan en una caja protectora a un lado del camino, los ratones entran y comen las etiquetas. Otra solución sería escribir directamente sobre los cables, pero los roedores tienen un gusto para el aislamiento del PVC y también mordisquean en la escritura. Cables de color podría funcionar, salvo que el color se pierde por el agua salada en el invierno en la autopista de Ohio, por lo que rojo, negro y blanco se convertirá en blanco, blanco y blanco en lo que el momento que el equipo regrese. Las etiquetas del metal serian la solución, pero la fabricación de las mismas consume tiempo y es costosa.

Para combatir el problema, en Ohio han desarrollado un sistema 1451.4 que identifica automáticamente el sensor que se encuentra al final de cada cable.

Incluso si no se pudiera instalar los nuevos sensores, 1451.4 todavía puede ser capaz de ayudar. El estándar también establece el concepto de “TEDS virtual”. Permite a los sistemas de

adquisición de datos descargar la información de correcta calibración de los miles de millones de sensores analógicos en lugares que no tiene chips TEDS incorporado (mientras alguien haya creado un TEDS virtual para el sensor). Toda una base de datos de archivos de TEDS para decenas de millones de sensores se puede almacenar en un disco o en un servidor accesible a través de Internet. Un número de identificación único, clasificado por el vendedor y modelo o número de serie, identifica cada TEDS.

John Deere, un importante fabricante de productos agrícolas, la construcción, la silvicultura, tiene un centro de ingeniería en Waterloo, Iowa, donde los ingenieros tienen previsto utilizar virtual TEDS para hacer frente a los sensores. El centro utiliza sensores para medir elementos como la temperatura y la presión dentro de las transmisiones de vehículos nuevos. El centro de pruebas tiene como objetivo calibrar cada sensor en un laboratorio central y luego marcar con un número de identificación único. La información de la calibración será cargada en una base de datos en el formato TEDS. Luego el sensor será enviado a las instalaciones de prueba, donde los técnicos utilizarán el número de identificación para descargar la información de calibración correspondiente. Este sería utilizado por 1451.4 para software y hardware hechos por National Instruments, de Austin, Texas, para configurar automáticamente los equipos de adquisición de datos para el sensor, mejorando la calidad de datos y reduciendo el número de pruebas.

Más allá de TEDS y estas primeras aplicaciones en Ohio e Iowa, 1451.4 tiene un gran número de aplicaciones, como en la industria de la automoción en la que una gran cantidad de sensores (principalmente acelerómetros) son conectados para medir la deformación y el comportamiento de los coches durante choques o bajo condiciones extremas; los sensores TEDS han permitido que la identificación de cada uno de esos sensores se realice con muchísima facilidad y minimizando los posibles errores de calibración que pudieran tener esos ensayos tremendamente importantes para la seguridad de las personas.

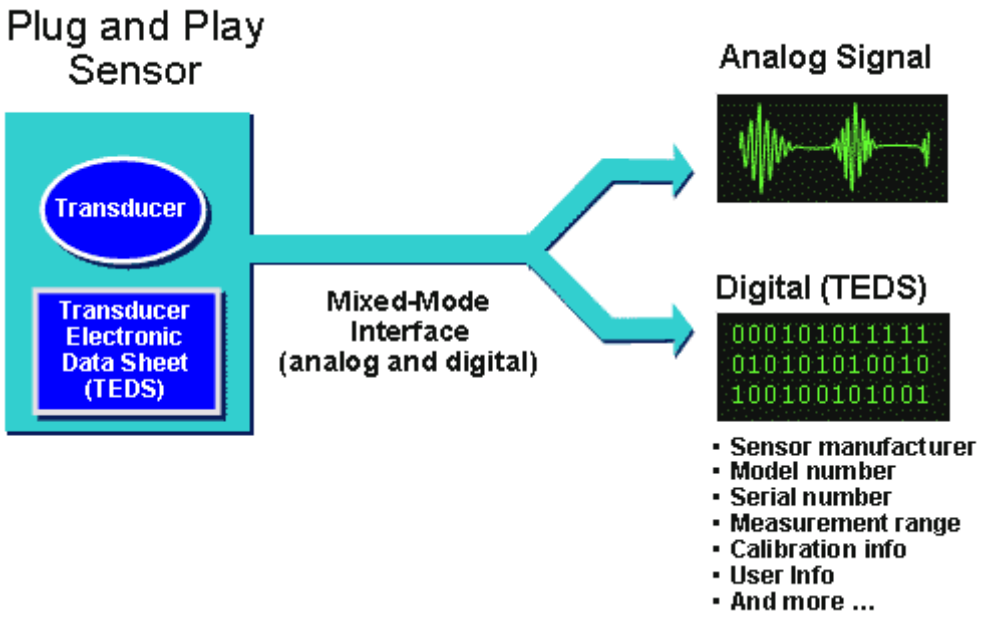
La inteligencia digital permitió a los sensores analógicos por 1451 ser fácilmente integrados en redes. Sensores de red hoy en día normalmente no pueden comunicarse con otros dispositivos o sistemas fuera de sus redes propietarias. Pero junto con las normas IEEE que describen cómo los datos deben ser transmitidos a través de redes móviles y fijas, sería posible controlar fácilmente 1451.4 para sensores de cualquier red. Esta integración puede abarcar una variedad de plataformas operativas para la adquisición de datos, almacenamiento y visualización.

Hoy en día, se han creado un consorcio de más de dos docenas de sensores, instrumentación, y los proveedores de software para promover la aplicación de IEEE 1451.4. Las nuevas tecnologías digitales y comunicación incorporarán TEDS, haciendo posible redes de sensores inteligentes y consiguiendo que los errores de calibración que nos afectan hoy en día se conviertan en una cosa del pasado.

2.2 Introducción sensores plug&play IEEE 1451.4

El IEEE 1451.4 es un estándar que define cómo los transductores analógicos pueden heredar habilidades de auto-descripción para operación plug-and-play simplificada. El estándar define una interfaz de modo mixto que conserva la señal del sensor analógica tradicional, pero añade un enlace digital serial de bajo costo para tener acceso a una hoja de datos electrónica de transductores (TEDS) embebida en el sensor para auto-identificación y auto-descripción.

Figura 1: Sensor Plug-and-Play con Información TEDS Embebida



Cuando se instala y configura un sistema DAQ tradicional, se debe proporcionar manualmente parámetros importantes del sensor, como el rango, la sensibilidad y los factores de escala, para que el software use y escale adecuadamente los datos del sensor. Un sistema equipado con sensores y actuadores IEEE 1451.4 puede automatizar este paso de configuración y también incrementar la integridad y la fiabilidad generales del sistema.

Aunque existen otras tecnologías de sensores inteligentes que también ofrecen operación plug-and-play, el IEEE 1451.4 es único porque mantiene la salida analógica del sensor. Por lo tanto, los transductores IEEE 1451.4 son compatibles con sistemas de legado que incluyen interfaces analógicas tradicionales. Y la simplicidad de implementación del IEEE 1451.4 tiene ventajas muy significativas y pragmáticas: la fácil adaptación de los sensores existentes y un muy bajo riesgo de adopción para los fabricantes de sensores.

Los dos componentes principales del estándar IEEE 1451.4 son los TEDS y la interfaz de modo mixto.

2.2.1 TEDS para Auto-Identificación de Sensores

El IEEE 1451.4 define un formato estándar para datos de TEDS que son embebidos en transductores plug-and-play. Como mínimo, las TEDS IEEE 1451.4 contiene información del fabricante, número de modelo y número de serie del transductor. La mayoría de las TEDS también describen los atributos importantes del sensor o actuador, como rango de medida, sensibilidad, coeficientes de temperatura e interfaz eléctrica. En otras palabras, el TEDS describe todo lo que se necesita saber para realizar una medida usando los sensores. La siguiente figura muestra un ejemplo de un TEDS para un acelerómetro.

Figura 2: Ejemplo de TEDS para acelerómetro

Basic TEDS	Manufacturer ID	43 (Acme Accelerometer Company)
	Model Number	7115
	Version Letter	B
	Serial Number	X001891
Standard and Extended TEDS (fields will vary according to transducer type)	Calibration Date	Jan 29, 2000
	Sensitivity @ ref. condition (S ref)	1.0094E+03 mV/g
	Physical measurement range	± 50 g
	Electrical output range	± 5 V
	Reference frequency (f ref)	100.0 Hz
	Quality factor @ fref (Q)	300 E-3
	Temperature coefficient	-0.48 %/°C
	Reference temperature (T ref)	23 °C
	Sensitivity direction (x,y,z)	x
User Area	Sensor Location	Strut 3A
	Calibration due date	April 15, 2002

2.2.2. Interfaz IEEE 1451.4 de Modo Mixto: TEDS Clase I y Clase II

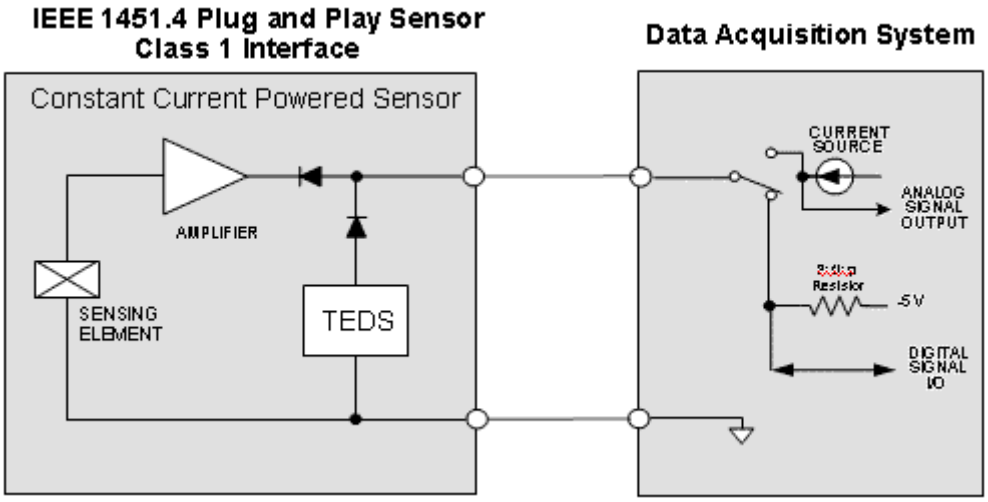
Un sensor TEDS proporciona una interfaz que conserva tanto la señal analógica tradicional (ya sea una tensión simple, una corriente, una impedancia, un circuito de puente, etc.) y añade una interfaz digital para la transferencia de la información almacenada en una EEPROM. El estándar define dos tipos de interfaces de modo mixto, designadas como interfaces Clase 1 de dos cables y Clase 2 de múltiples cables.

A) TEDS Clase I

La interfaz Clase 1 de dos cables funciona con transductores energizados con corriente constante o ICP® (Integrated Circuit Piezoelectric), como acelerómetros. ICP es una marca registrada de PCB Piezotronics, Inc. Los transductores Clase 1 incluyen diodos o conmutadores analógicos con los cuales es posible el multiplexado de la señal analógica con la información TEDS digital en el único par de cables.

En sensores de Clase 1, la señal digital se comparte con la señal analógica en las mismas líneas. El sensor incluye la EEPROM y la circuitería para la conmutación basada en una corriente de polarización, que por lo general es sólo una resistencia y un diodo o dos.

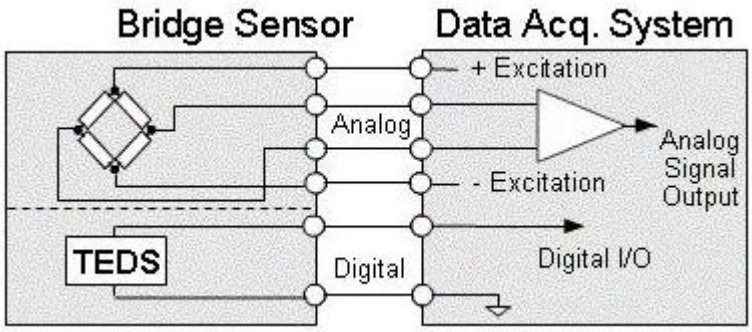
Figura 3: Interfaz de Dos Cables Clase 1 para Sensores ICP



B) TEDS Clase II

Para otro tipo de sensores, la interfaz Clase 2 utiliza una conexión diferente para las porciones analógicas y digitales de la interfaz de modo mixto. La entrada y salida analógica del transductor se deja sin modificaciones y el circuito digital para TEDS es añadido en paralelo. Esto permite la implementación de transductores plug-and-play con prácticamente cualquier tipo de sensor o actuador, incluyendo termopares, RTDs, termistores, sensores de puente, celdas electroquímicas y sensores de lazos de corriente de 4-20 mA. Debido a las líneas separadas, no es necesaria una conmutación ya que la señal digital TEDS y la medición analógica se envían por separado.

Figura 4: Interfaz Clase 2 con las dos vías por separado

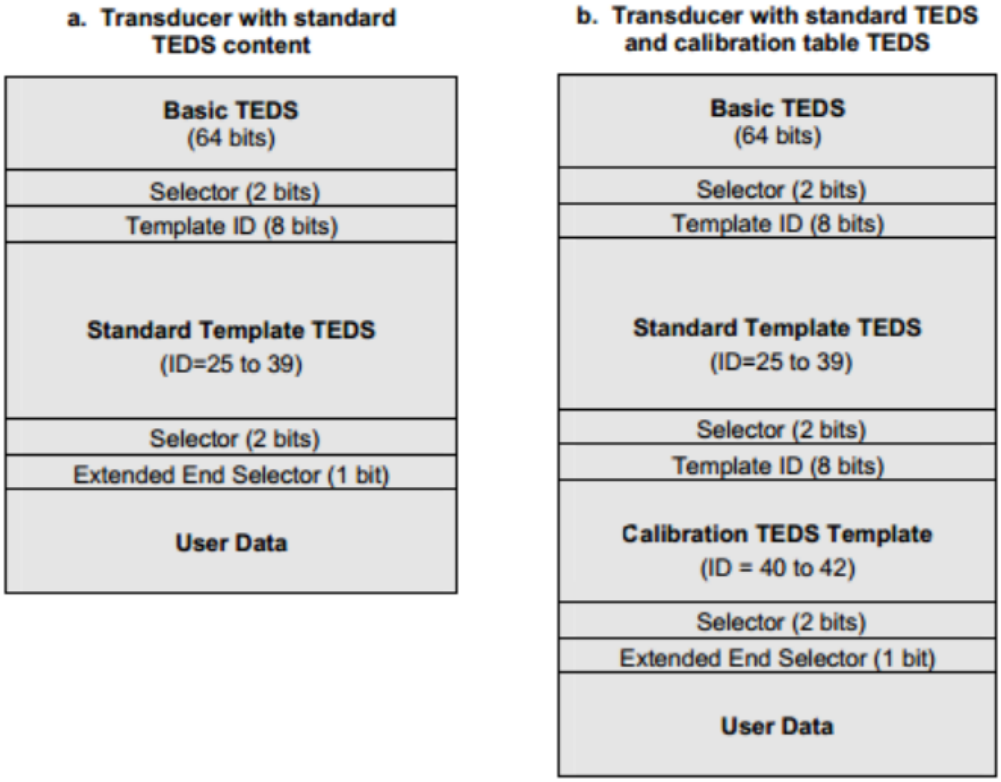


2.2 La estructura de los TEDS

Independientemente de la interfaz utilizada, IEEE 1451.4 define los TEDS como múltiples secciones que juntas forman un completo TEDS. La primera sección son los "Basic TEDS", los cuales comprimen la información para la identificación esencial. Típicamente, un TEDS IEEE estándar el cual define las propiedades importantes de un sensor particular seguirá una estructura de "Basic TEDS". Opcionalmente, este estándar TEDS puede ser ampliado con una plantilla de calibración. Dos bits en los datos de los TEDS indican el comienzo de la siguiente sección. Finalmente, el final de sección de los TEDS es utilizado a criterio del usuario.

La información de los TEDS es programado dentro de un chip EEPROM tal y como muestra la siguiente figura:

Figura 5: Información contenida en la EEPROM



2.2.1 Basic TEDS

Los primeros 64 bits de los transductores TEDS definen el "Basic TEDS". El "Basic TEDS" únicamente identifica el transductor e incluye el número de identificación del fabricante (Manufacturer ID) en 14 bits, el número del modelo (15 bits), la letra de la versión (5-bits con código de caracteres), el número de versión (6 bits) y el número de serie del dispositivo (24 bits). Estos datos serán organizados conforme al formato descrito anteriormente.

Tabla 1: Esquema de un "basic TEDS"

	Bit Length	Allowable Range
Manufacturer ID	14	17 – 16381
Model Number	15	0-32767
Version Letter	5	A-Z (data type Chr5)
Version Number	6	0-63
Serial Number	24	0-16777215

El "Manufacturer ID" o número de identificación del fabricante es una enumeración de los fabricantes estandarizada. Muchos IDs han sido asignados a los primeros fabricantes que usaron ésta norma, las futuras asignaciones serán tratadas por el IEEE. Estas asignaciones de ID están también disponibles en un archivo de texto en ASCII disponible desde el IEEE o proveedores de software. El software puede usar este archivo para mostrar los nombres de los fabricantes. Valores de 0-16 y 16382-16383 son reservados para usos especiales tales como listas de nodos en una configuración multi-nodo y plantillas diseñadas por los usuarios.

La aplicación y la asignación del resto de los TEDS básicos se dejan a la discreción del fabricante. En concreto, el número de modelo se puede definir como una enumeración del nombre de modelo de un fabricante dado. Esta enumeración puede estar disponible desde los propios fabricantes como un archivo ASCII para aplicaciones de software.

2.3 Plantillas estándar para los TEDS

La norma define una colección de plantillas para las clases comunes de transductores que se enumeran en la siguiente tabla. Plantillas de 25 a 39 son plantillas de tipo de transductor que contienen propiedades que son necesarias para los tipos específicos de transductores. Plantillas 40, 41, y 42 son plantillas de calibración y se pueden utilizar con una de las plantillas de tipo de transductor.

Tabla 2: Relación de plantillas para TEDS

Type	Template ID	Name of Template
Transducer Type Templates	25	Accelerometer & Force
	26	Charge Amplifier (w/ attached accelerometer)
	43	Charge Amplifier (w/ attached force transducer)
	27	Microphone with built-in preamplifier
	28	Microphone Preamplfiers (w/ attached microphone)
	29	Microphones (capacitive)
	30	High-Level Voltage Output Sensors
	31	Current Loop Output Sensors
	32	Resistance Sensors
	33	Bridge Sensors
	34	AC Linear/Rotary Variable Differential Transformer (LVDT/RVDT) Sensors
	35	Strain Gage
	36	Thermocouple
	37	Resistance Temperature Detectors (RTDs)
	38	Thermistor
	39	Potentiometric Voltage Divider
Calibration Templates	40	Calibration Table
	41	Calibration Curve (Polynomial)
	42	Frequency Response Table

Concretamente en este trabajo se utilizará la plantilla numero 25 ya que se utilizará un acelerómetro (como veremos en el siguiente capítulo).

Información adicional y más precisa sobre cada una de las plantillas será añadida en los anexos así como una explicación de cada una de sus partes.

Capítulo 3: Desarrollo del sistema de adquisición

3.1 Hardware utilizado

3.1.1 NI SC-2350

El SC-2350 de National Instruments es un adaptador blindado para módulos SCC de acondicionamiento de señales que tiene conectores configurables para sensores inteligentes TEDS Clase II. El NI SC-2350, el cual se cablea directamente a dispositivos DAQ de la Serie M y la Serie E, puede ser energizado ya sea directamente desde el dispositivo DAQ o con una fuente de alimentación externa.

Figura 6: NI SC-2350

Las características generales del dispositivo son las siguientes:

- Múltiples opciones de potencia, incluyendo directamente desde el dispositivo DAQ
- Adaptador blindado para módulos SCC
- Acepta hasta 16 canales de sensores inteligentes TEDS Clase II
- Paquete pequeño y portátil
- Acepta paneles personalizados para conectividad directa de sensor
- Se cablea directamente a dispositivos DAQ de la Serie M y la Serie E

Para más información se puede consultar el "datasheet" en los anexos del presente documento.

3.1.2 Entrada de acelerómetro SCC-ACC01

El SCC-ACC01 de National Instruments es un módulo de acondicionamiento de señales de 1 canal para acelerómetro o micrófono compatible de tipo piezoeléctrico electrónico integrado (IEPE). Incluye un amplificador AC diferencial y filtro Bessel de paso bajo de 3 polos (19 kHz). Este módulo también ofrece una fuente de corriente constante de 4 mA para excitación del sensor.

Figura 7: SCC-ACC01

Las características generales del dispositivo son las siguientes:

- Filtro Bessel de paso bajo de 3 polos (19 kHz)
- Fuente de excitación de 4 mA
- Acondicionamiento IEPE para acelerómetros y micrófonos
- Terminales de tornillo removibles para una fácil conexión de señales

Para más información se puede consultar el "datasheet" en los anexos del presente documento.

3.1.3 EEPROM DS-2431

La DS2431 es una memoria EEPROM de 1024-bit con protocolo 1-Wire® y un chip organizado como cuatro páginas de memoria de 256 bits. Los datos son escritos en un espacio de 8-bytes, verificado y copiado en la memoria EEPROM. Como características especiales, las cuatro páginas de memoria pueden ser individualmente escritas en modo protegido o puestas dentro de "EPROM-emulationmode", donde los bits solo pueden ser cambiados de estado 1 a 0. La DS2431 comunica a través del protocolo estándar 1-wire. Cada dispositivo tiene su propio número de registro inalterable y único de 64-bits ROM que es imprimido mediante laser dentro del chip. El número de registro es usado para tratar el dispositivo en un entorno de red multipunto 1-wire.

Figura 8: EEPROM DS 2431

Esta especialmente diseñada para la calibración de los sensores analógicos incluida la norma IEEE 1451.4.

Sus características generales son las siguientes:

- 1024 Bits de memoria EEPROM particionada en 4 páginas de 256 bits.
- Páginas de memoria individual pueden ser permanentemente protegidas de escritura o puestas en el modo de emulación (“escritura a 0”).
- Histéresis de conmutación y filtrado para optimizar el rendimiento en presencia de ruido.
- IEC 1000-4-2 Level 4 ESD Protection (±8kV Contact, ±15kV Air, typical)
- Escritura y lectura con un rango de voltaje de 2.8V a 5,25V en un margen de temperatura entre -40ºC a +85ºC.
- Comunicación con el Host con una señal digital simple de 15.4kbps o 125kbps usando 1-wire Protocol.

3.1.4 Sensor Brüel&Kjaer Accelerometer 4508 B003

MiniatureDeltaTron™ AccelerometersTypes4508 es un acelerómetro diseñado específicamente para soportar las condiciones adversas en los ensayos de la industria automotriz. Una combinación de alta sensibilidad, baja masa y pequeñas dimensiones lo hacen ideal para las mediciones de los modelos usados, tales como el “cuerpo” del automóvil y las mediciones de potencia de tren, así como para modelos de análisis en aviones, trenes y satélites.

Figura 9: Acelerómetro 4508-B003

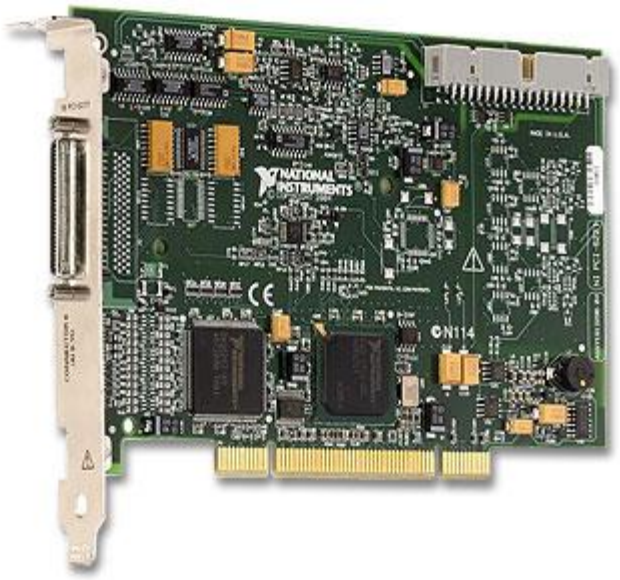
Sus características generales son:

- Carcasa de titanio robusta con conector de titanio integrada
- Facilidad de instalación en diferentes objetos de prueba utilizando una selección de clips de montaje
- Bajo peso, diseño ThetaShear dando alta relación sensibilidad/peso y muy baja sensibilidad a factores ambientales
- Facilidad de montaje triaxial
- Conexión directa a la red eléctrica (ICP® compatible) DeltaTron™. El principio DeltaTron™ permite el uso de cables de bajo costo. Baja impedancia de salida de manera que los cables largos pueden ser utilizados
- Armarios empotrados, preamplificadores de bajo ruido con ASICs dan más de 100 dB de rango dinámico
- Elección de las sensibilidades de 10 mV / g a 1 V / g
- ID (TEDS) "Smart Transductor Interface" IEEE - P1451.4 (tipos 4507 B y 4508 B)
- Sensibilidad 5 pC/g
- Temperatura de trabajo hasta 250 ° C (482 ° F)

3.1.5 NI PCI-6221

La PCI-6221 de National Instruments es una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) multifunción de bajo costo de la Serie M optimizada para aplicaciones condicionadas por costos. Las tarjetas de bajo costo de la Serie M ofrecen características avanzadas como el controlador de sistema NI-STC 2, el amplificador programable NI-PGIA 2 y la tecnología de calibración NI-MCal para mejorar el rendimiento y la precisión.

Figura 10: Tarjeta de adquisición NI PCI-6221



Sus características generales son:

- Dos salidas analógicas de 16 bits (833 kS/s), 24 E/S digitales, contadores de 32 bits
- Certificado de calibración trazable expedido por el NIST y más de 70 opciones de acondicionamiento de señales
- E/S digital correlacionadas (8 líneas sincronizadas, 1 MHz)
- La tecnología de calibración NI-MCal proporciona una mayor precisión
- La Serie M de alta velocidad alcanza velocidades de muestreo 5 veces más rápidas y la Serie M de alta precisión obtiene 4 veces más resolución.
- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos

3.2 Software utilizado

3.2.1 LabView

LabView es un entorno de desarrollo basado en programación gráfica orientado a desarrollar aplicaciones para instrumentación que integra una serie de librerías para comunicación con instrumentos electrónicos como GPIB o puerto serie con tarjetas de adquisición de datos, sistemas de adquisición y acondicionamiento como VXI, PXI o SCXI. LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), debido a que su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. No obstante poseen analogías con funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una interface interactiva de usuario, también llamada panel frontal ya que simula el panel de un instrumento físico en el cual se pueden entrar datos usando el teclado o ratón y visualizar todos los resultados en la pantalla del PC.

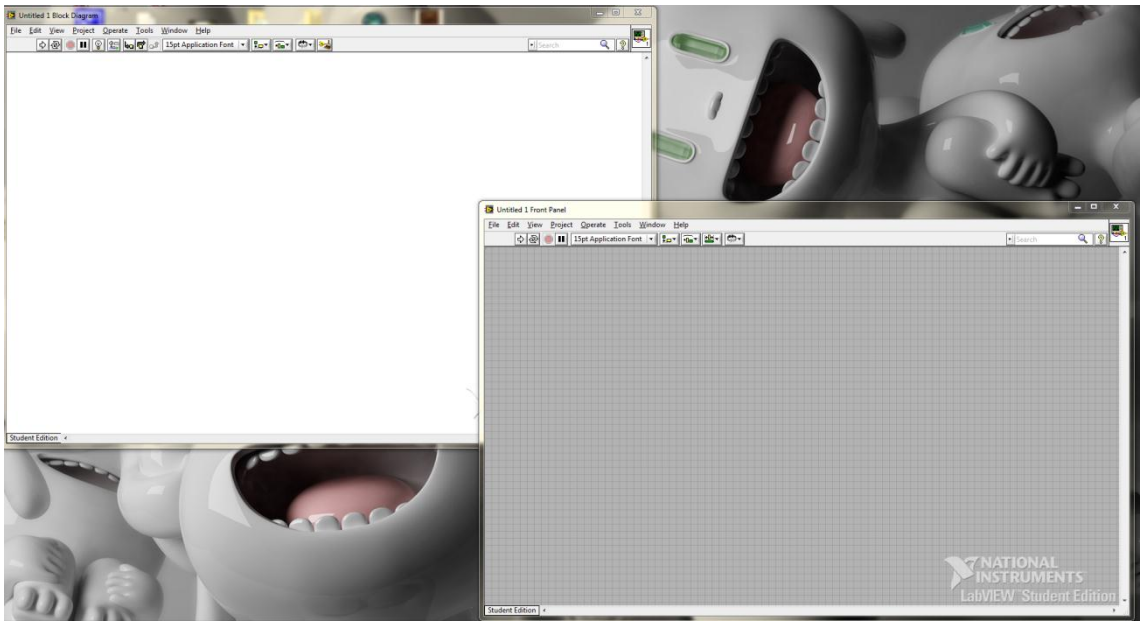
La otra interface es la de código fuente, donde los VIs reciben instrucciones de un diagrama de bloques construido en lenguaje G el cual suministra una solución gráfica a un problema de programación.

LabView a través de los VIs usa una estructura hereditaria y modular que permite construir programas por niveles y hacer subprogramas y rutinas para usarlos en otros programas. Un VI contenido en otro VI es denominado subVI.

Así pues, cada VI de LabView cuenta con dos interfaces: panel frontal y diagrama de bloques los cuales se explicarán con un poco más de detalle a continuación.

En la siguiente figura se puede ver estos interfaces dentro de un entorno Windows.

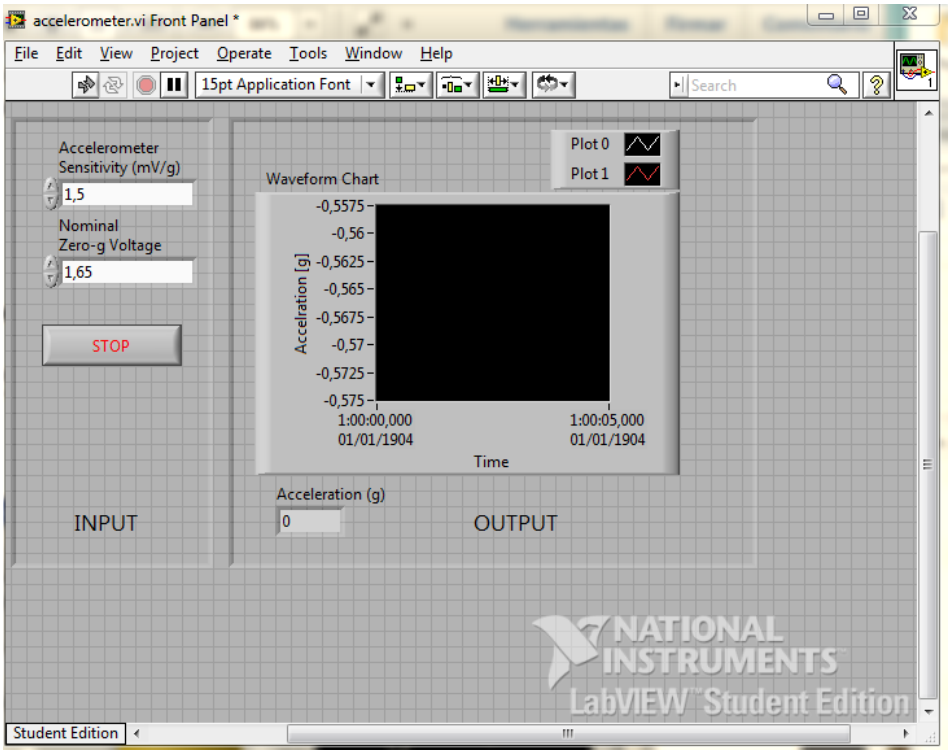
Figura 11: Interfaz de LabView en Windows 7



A) Panel Frontal

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Permite la entrada procedente del usuario y salida de datos proporcionada por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Las entradas tales como controles o botones sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores como los gráficos se emplean para mostrar los resultados producidos.

Figura 12: Panel frontal de LabView



B) Diagrama de bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente gráfico del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

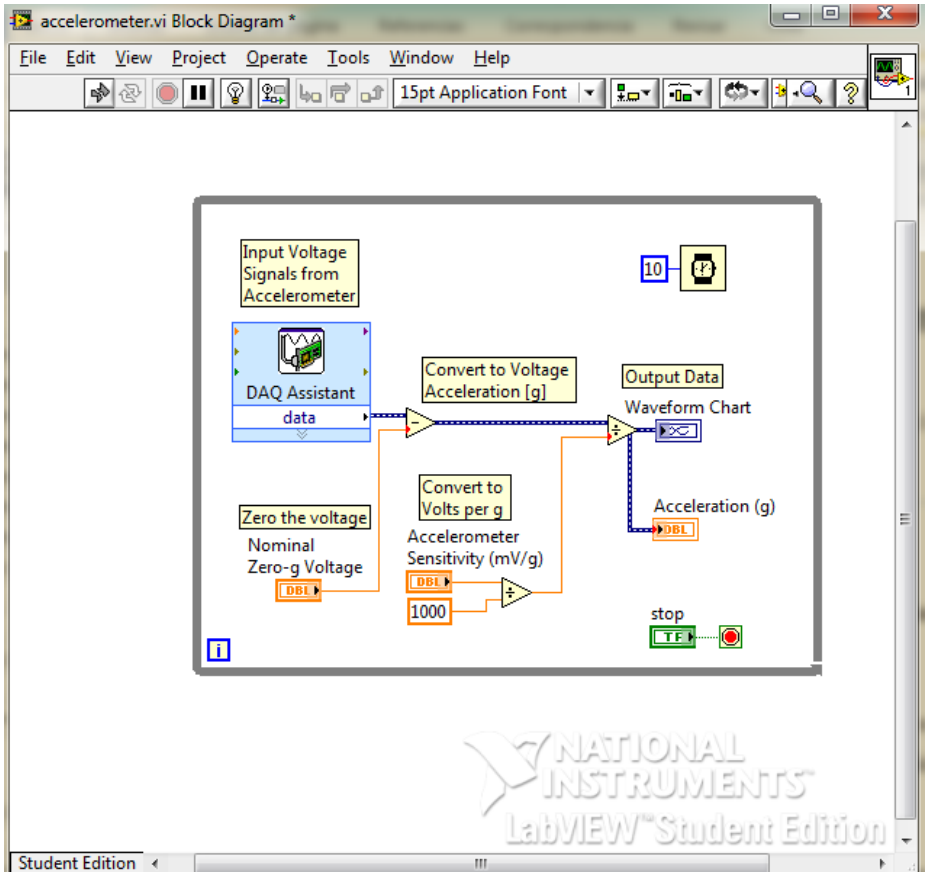
El diagrama de bloques se distinguen: Terminales, que representan los controles e indicadores del panel. Funciones y SubVIs, que realizan tareas específicas. Estructuras y cables que determinan el flujo de los datos en el programa. Cualquiera de las partes del diagrama de un VI se denomina NODO. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos. LabVIEW posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle for, while, case,...).

Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable tiene un color o un estilo diferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros.

Figura 13: Diagrama de bloques de LabView



3.2.2 Measurement and Automation Explorer (MAX)

Measurement & Automation Explorer (MAX) es un programa creado por National Instruments para dar acceso a sus productos CAN, DAQ, FieldPoint, GPIB, IMAQ, IVI, Modular Instruments, Motion, NI Switch Executive, VI Logger, VISA y dispositivos VXI.

MAX es utilizado para:

- Configurar el hardware y software de National Instruments
- Crear y editar canales, tareas, interfaces e instrumentos virtuales
- Ejecutar los diagnósticos del sistema y los paneles de prueba
- Ver dispositivos e instrumentos conectados al sistema
- Actualizar el software de National Instruments

3.3 Incidencias durante el desarrollo

3.3.1 Problemas encontrados

Durante el desarrollo del proyecto encontramos varios problemas a solucionar. El más relevante de ellos fue con la adquisición del TEDS del sensor comercial el cual viene ya integrado Brüel&Kjaer Accelerometer 4508 B003. Específicamente el problema vino dado porque la caja de adquisición SC-2350 solamente era compatible con sensores TEDS de clase II y el sensor 4508-B003 es un sensor con TEDS clase I, no se pudo encontrar ningún método ya que como se puede observar en el apartado 2.2.2 la clase II precisa de dos vías para la adquisición analógica y la digital.

3.3.2 Solución planteada

Al ser el único sensor TEDS (independientemente de la clase) que se disponía y ser el SC-2350 la única caja de adquisición que se podía utilizar, se planteó un cambio de rumbo en el desarrollo que no necesariamente implicaba un cambio en los objetivos sino una simple ampliación de éstos.

Así pues se procedió a la adaptación del sensor TEDS clase I en sensor TEDS clase II. De esta forma se podría conseguir el objetivo principal, desarrollar un sensor genérico conforme a la norma IEEE 1451.4, y además poder acondicionar los sensores que disponen de TEDS clase 1 para su adquisición en dispositivos solo compatibles con sensores TEDS clase 2.

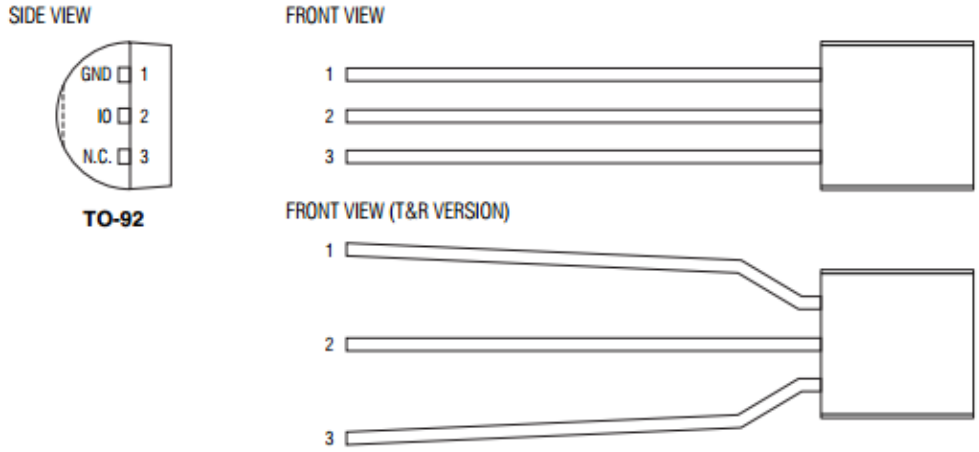
En el siguiente apartado se explicará, en resumen, la manera en la que esto se ha realizado, usando el software y hardware anteriormente comentado.

Capítulo 4: Desarrollo TEDS clase 2

4.1 Conexionado físico

Para la realización del conexionado se usará la memoria DS2431 con encapsulado TO-92 montada en una protoboard común.

Figura 14: Conexionado del DS2431



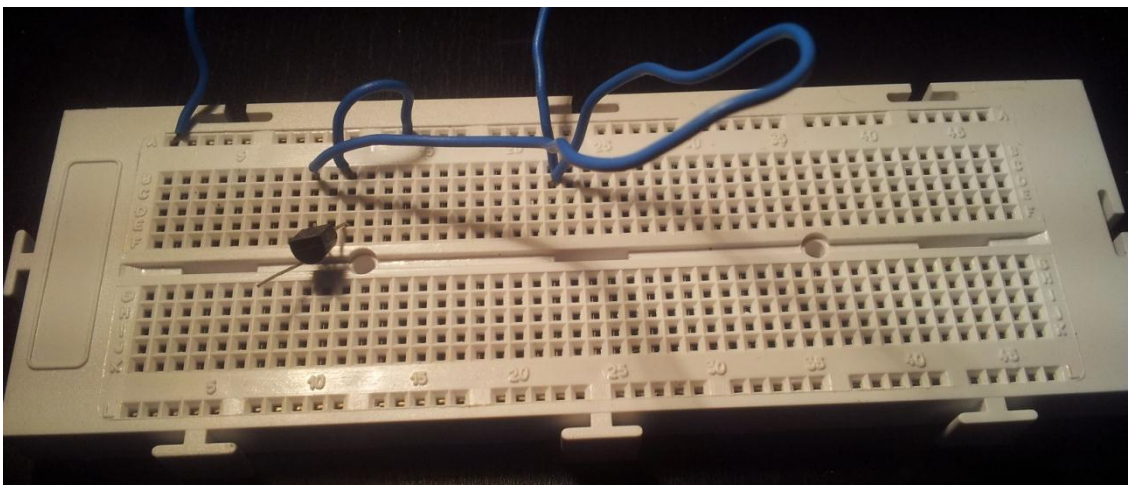
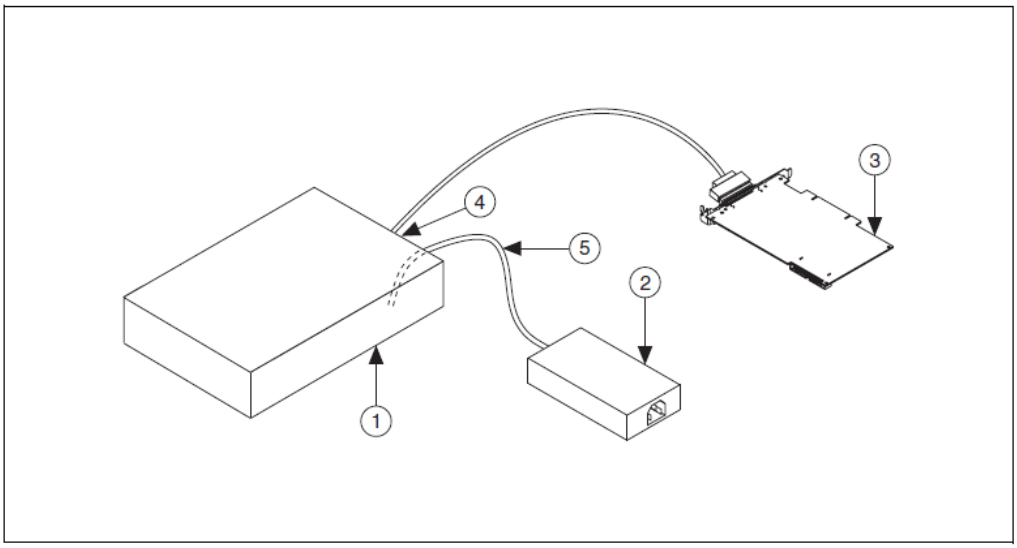


Figura 15: Vista real de la EEPROM en la protoboard

El primer paso consistirá en alimentar la caja de adquisición. El SC-2350 cuenta con tres módulos de alimentación posibles conectados al socket J21. Cada módulo proporciona una alimentación digital de +5V y una analógica de ±15V. Los tres tipos de módulos existentes son:

- SCC-PWR01

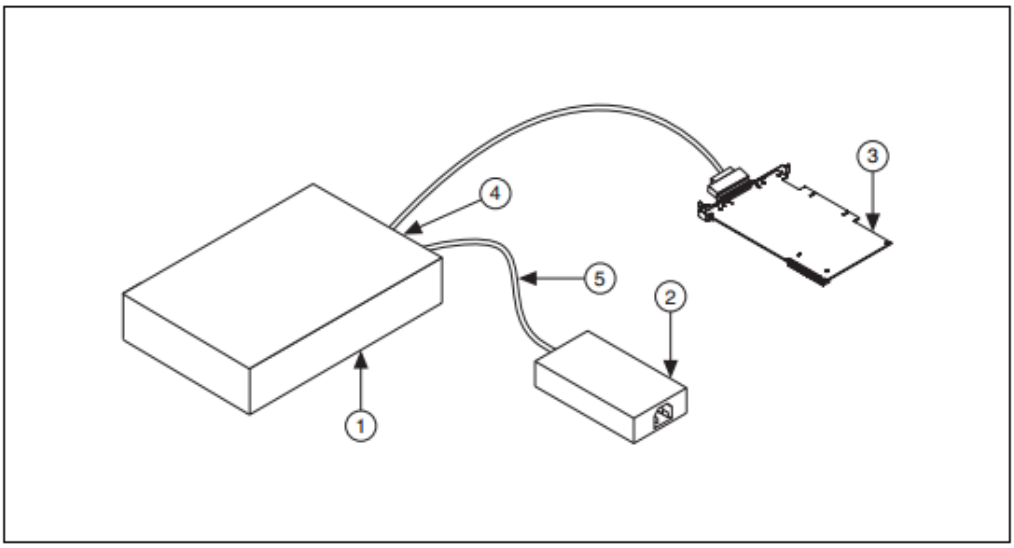
Figura 16: Conexionado SCC-PWR01



1	SC-2345/2350 Carrier	5	Positive Lead to +5 V Screw Terminal on SCC-PWR01 Connector J1
2	5 VDC Power Supply (User-Supplied, Optional)		
3	DAQ Device	6	Negative Lead to GND Screw Terminal on SCC-PWR01 Connector J1
4	J24		

- SCC-PWR02

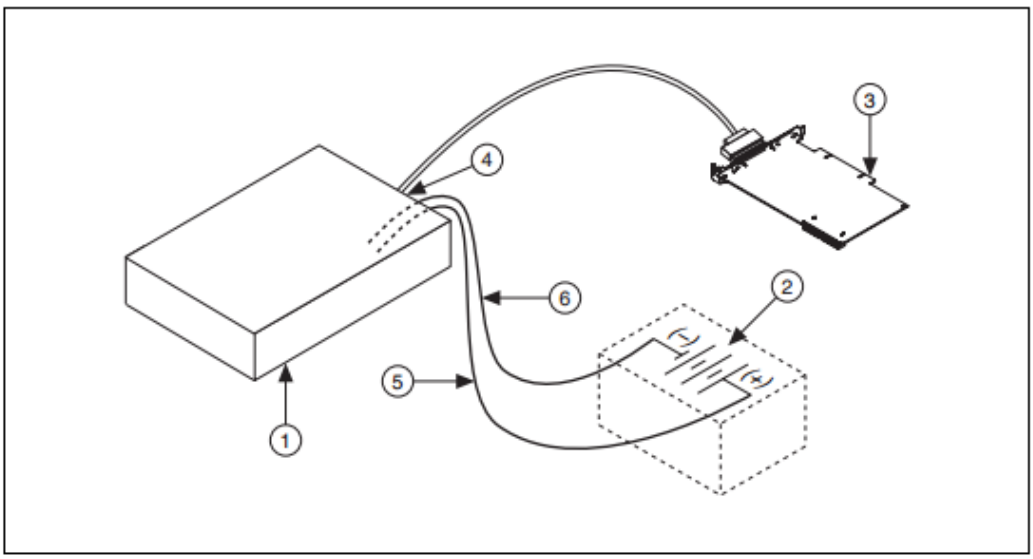
Figura 17: Conexionado SCC-PWR02



1	SC-2345/2350 Carrier	4	To Connector J24
2	PS01 Power Supply	5	To Connector J25
3	DAQ Device		

- SCC-PWR03

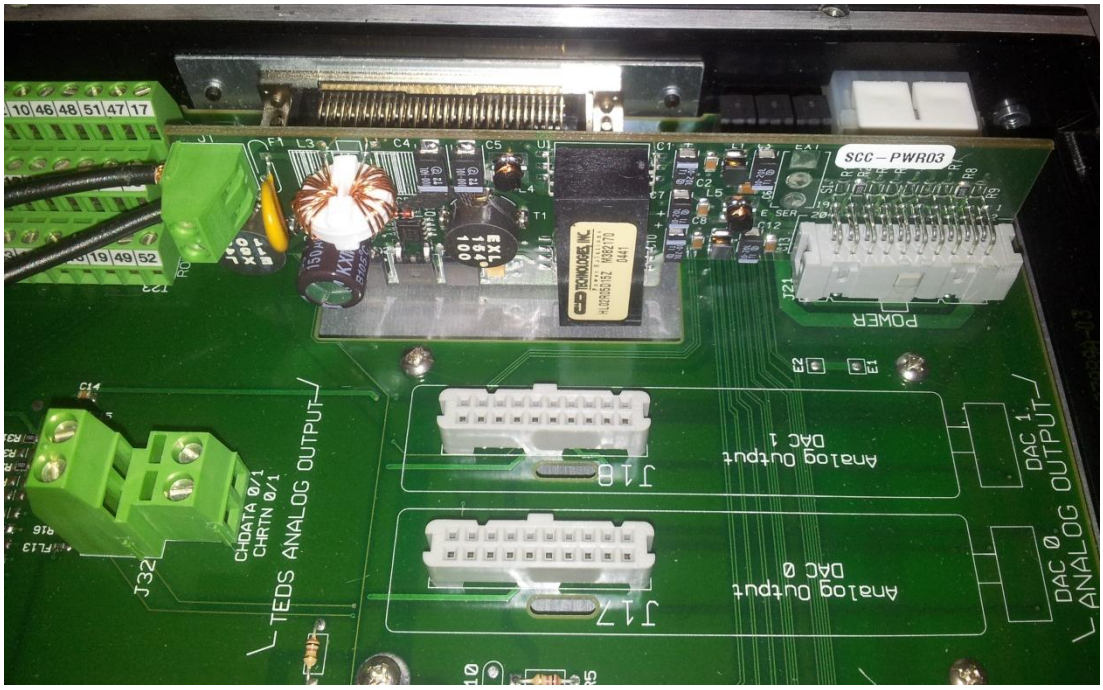
Figura 18: Conexionado SCC-PWR03



1	SC-2345/2350 Carrier	5	Negative Lead to GND Screw Terminal on SCC-PWR03 Connector J1
2	7–42 VDC Source (User-Supplied)	6	Positive Lead to +5 V Screw Terminal on SCC-PWR03 Connector J1
3	DAQ Device		
4	To Connector J24		

Para el desarrollo de nuestro proyecto se utilizará el SCC-PWR03 el cual convierte una tensión de 7 a 42VDC en +5V para las señales digitales y ±15V para las analógicas. Éste módulo necesita de una fuente externa como se indica en la figura anterior, se decidió por alimentar el SC-2350 con una voltaje de 20V.

Figura 19: Vista real del SCC-PWR03



4.1.2 Escritura en la memoria

Para hacer la escritura en la memoria se utilizarán los sockets J1-J8 que están directamente conectados a los sockets J26-J32 a través de los pines 15-16 para el IO de la memoria (protocolo 1-wire) y el pin 6 para el GND. A continuación se muestra la tabla de pines así como la conexión realizada.

Tabla 3: Pines de los sockets J1-J8

Pin Number	J1–J8: Analog Input
1	AI (*X*) to DAQ device
2	—
3	AI SENSE
4	AI (*X*+8) to DAQ device
5	—
6	AI GND
7	PFI 7/AI SAMP CLK
8	—
9	+5 V
10	GND
11	A GND
12	REF 5 V
13	+15 V
14	–15 V
15	1-Wire (*X*+8)
16	1-Wire (*X*)
17	—
18	—
19	—
20	—

Figura 20: Muestra real del socket J6

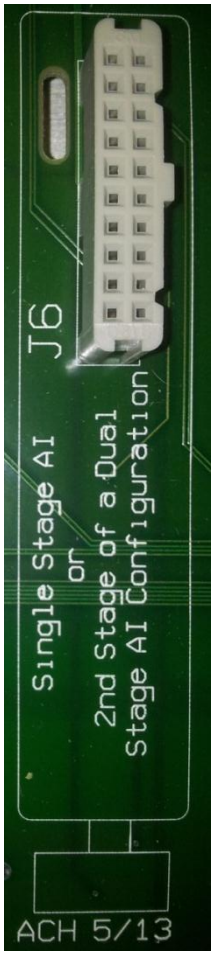
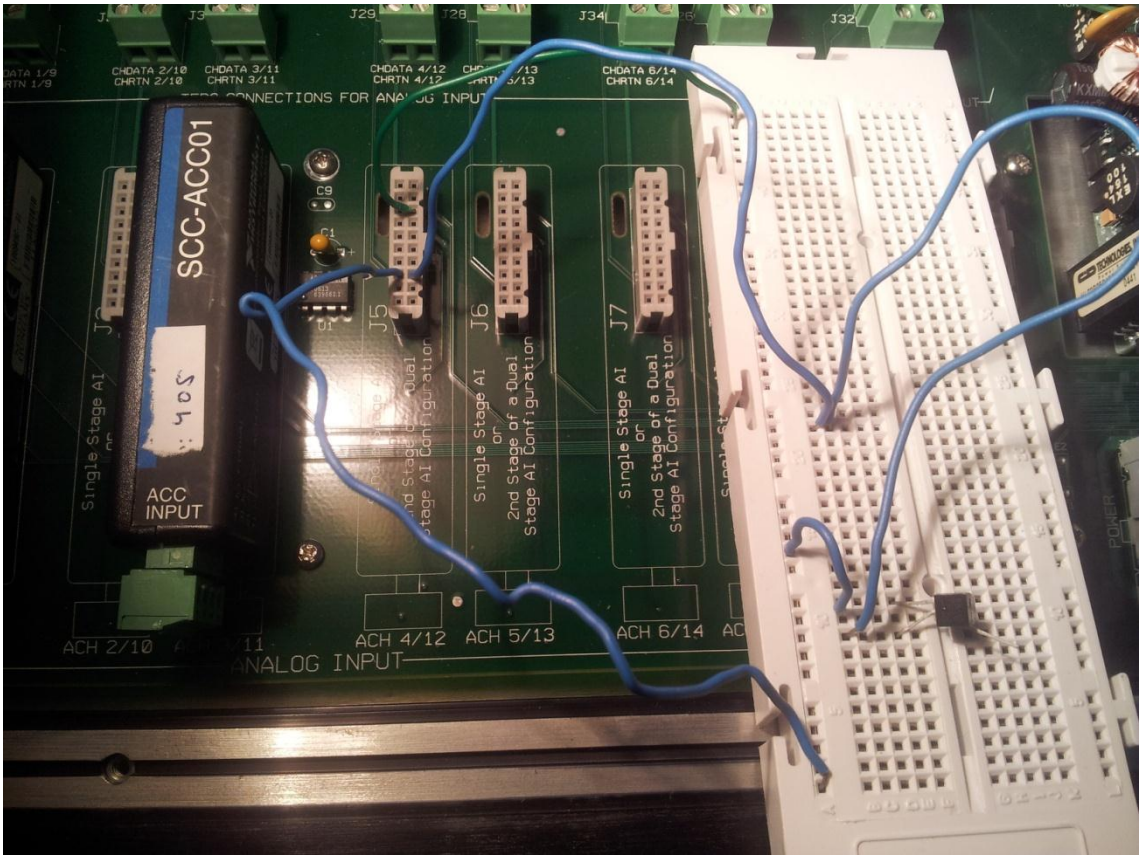


Figura 21: Conexionado real de la memoria para su escritura



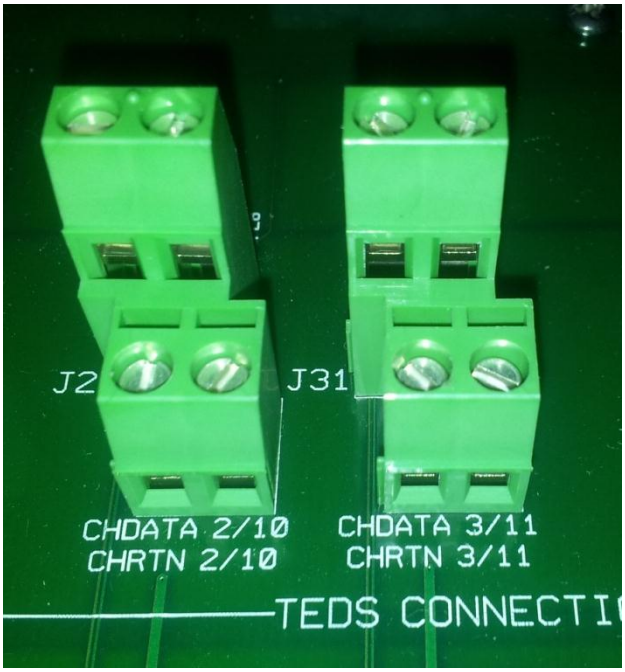
Cabe destacar que es importante conectarlo a los pines y no directamente a los "TEDS CONNECTIONS FOR ANALOG INPUT" ya que el sistema reserva este último para cuando un módulo SCC es conectado así pues lo que pretendemos hacer es simular un módulo SCC para realizar la escritura.

Como se puede observar no se necesita alimentación externa ni protección contra sobretensiones o corriente inversa ya que el SC-2350 genera 5V para las señales digitales lo cual alimenta de manera suficiente el chip de la memoria.

4.1.3 Lectura de la memoria

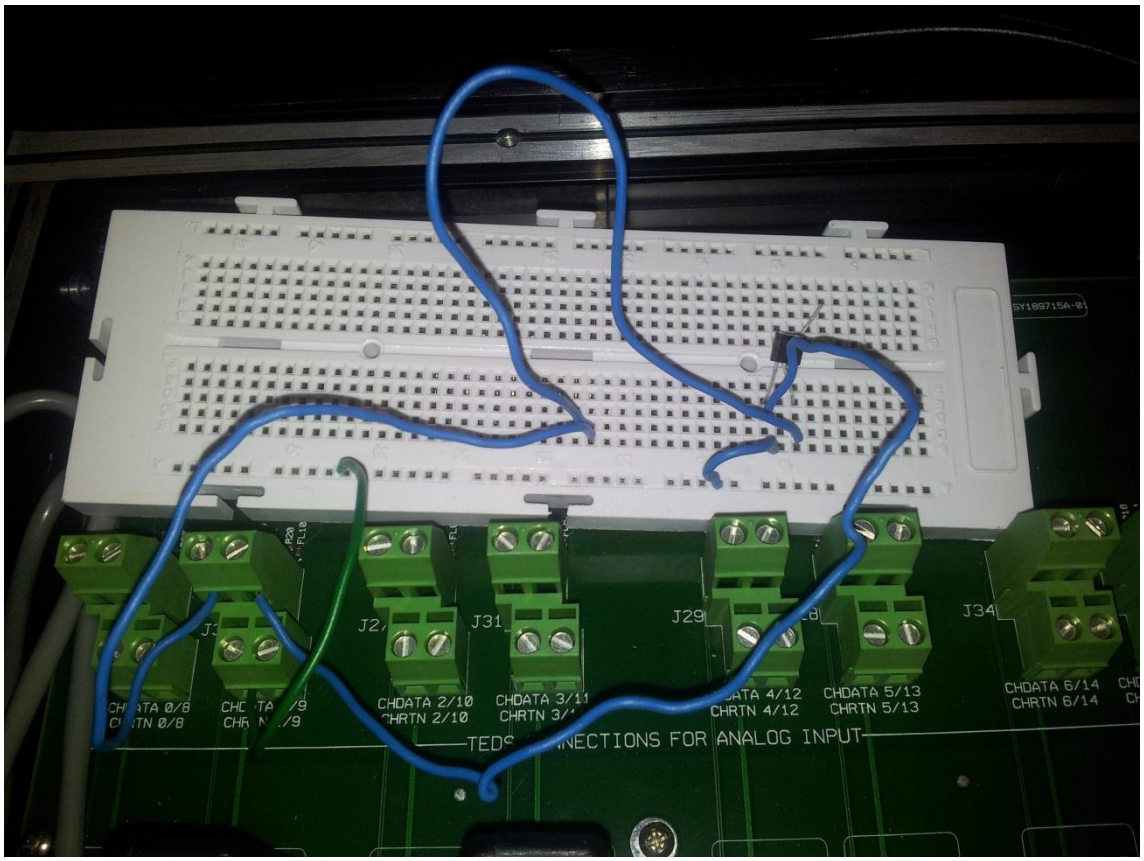
Para realizar la lectura utilizaremos los sockets J26-J34 correspondiente al módulo SCC instalado. Para ello utilizaremos los "TEDS CONNECTIONS FOR ANALOG INPUT" situado justo encima del módulo SCC en el cual haremos la adquisición del sensor.

Figura 22: Muestra real de los sockets "TEDS CONNECTION FOR ANALOG INPUT"



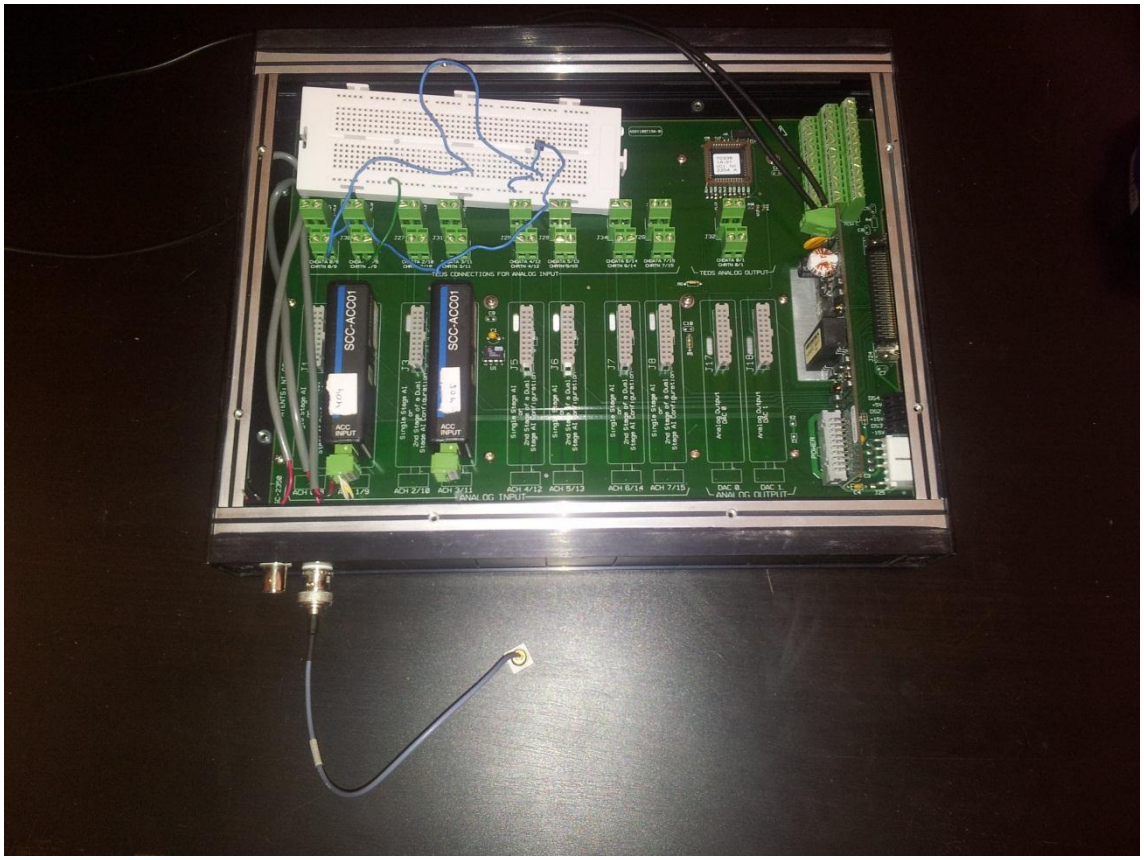
El conexionado será similar a la escritura sin embargo para éste caso si debe estar conectado el módulo SCC. De hecho se podría realizar la lectura con el mismo conexionado utilizado para la escritura (los pines antes mencionados), pero en ese caso no sería posible hacer simultáneamente la adquisición analógica del sensor (o al menos no sería posible en el mismo socket).

Figura 23: Conexionado real para la lectura de la memoria



Como en el presente proyecto se hará la lectura de la memoria de un sensor preestablecido, a continuación se muestra el conexionado de todos los elementos:

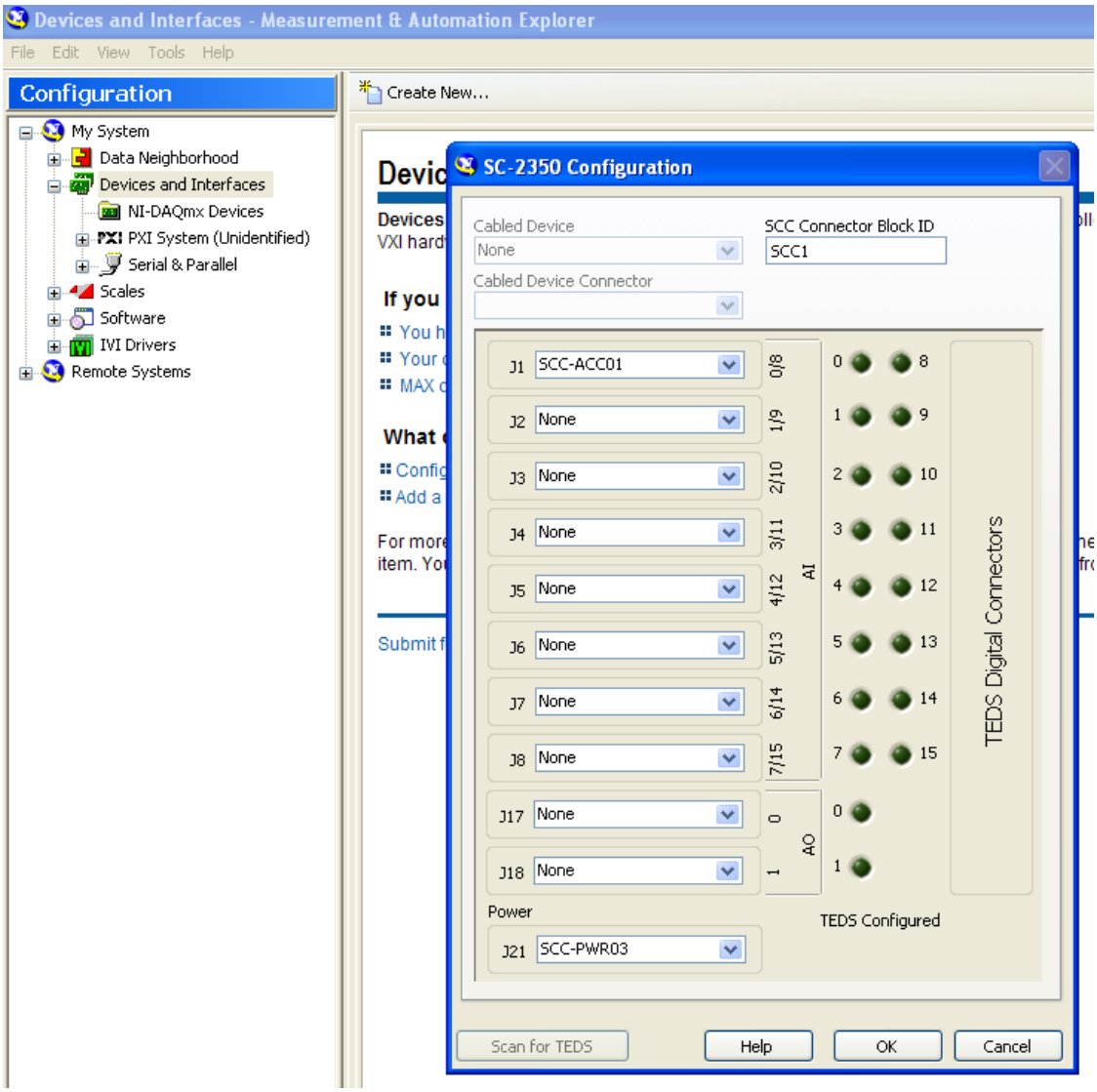
Figura 24: Conexionado completo



4.2 Programación de la memoria

Antes de realizar cualquier tipo de programación se debe configurar el SC-2350 en el MAX la cual se pude encontrar en el manual de usuario que se puede consultar en los anexos del presente documento. Como resumen tenemos la siguiente imagen correspondiente a la configuración del SC-2350:

Figura 25: Configuración MAX para el SC-2350

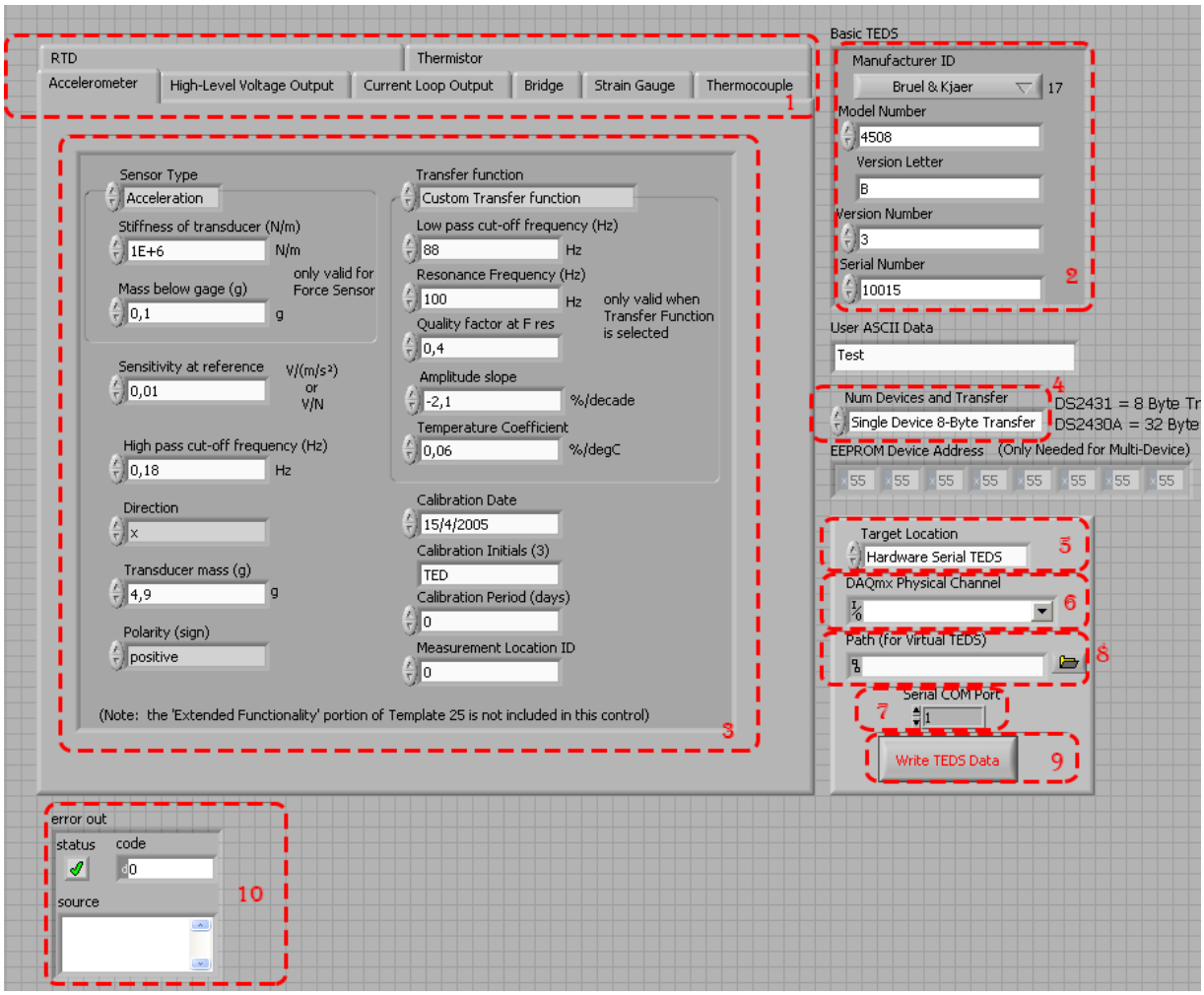


Podemos observar que hay la selección de módulos SCC para cada uno de los sockets (en nuestro caso tenemos el SCC-ACC01 seleccionado para la adquisición de nuestro

acelerómetro). Abajo podemos seleccionar entre los tres tipos de módulos para la alimentación de la caja, que como hemos visto anteriormente en el presente caso será el SCC-PWR03. También se puede seleccionar el "cabled device connector" en el que, en éste caso, seleccionaremos la PCI-6221. Por último tenemos un panel con leds en el que se indicarán los sensores TEDS reconocidos por el MAX.

4.2.1 Diseño del programa de escritura en la memoria

La programación de la escritura sigue una estructura secuencial:

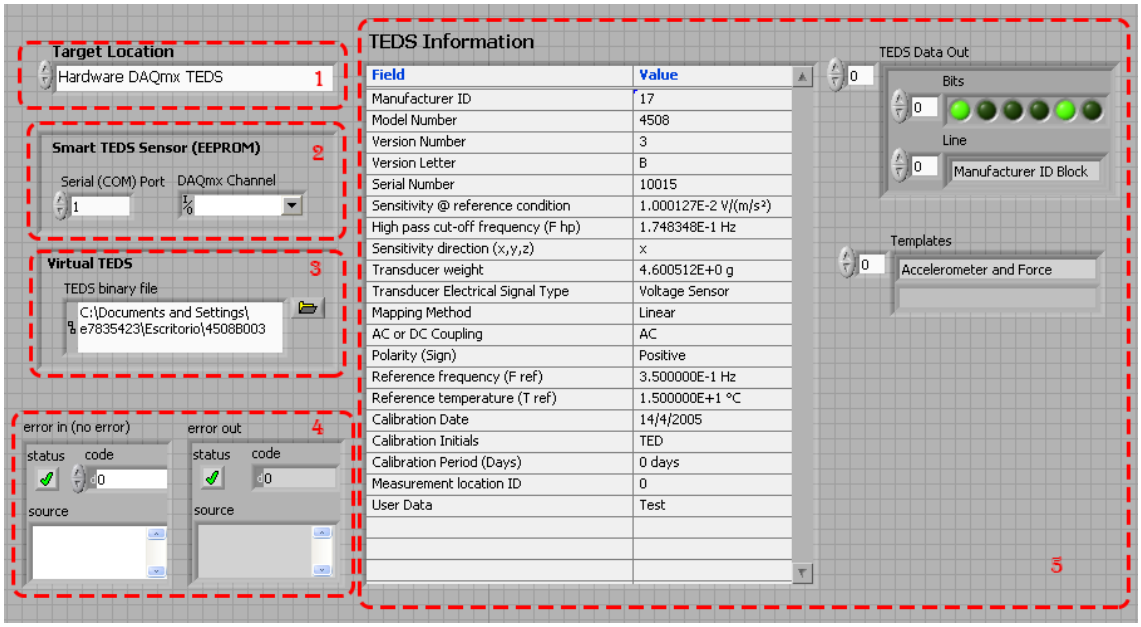


1) Primero deberemos seleccionar la plantilla correspondiente al tipo de sensor que queremos grabar en la EEPROM.
2) Una vez hecho esto introduciremos los datos necesarios (recogidos en el apartado 2.2: estructura de los TEDS) como el número del fabricante (manufacturer ID), versión, número de la versión.
3) Introduciremos todos los datos necesarios que se recogen en el datasheet del sensor en cuestión.
4) Seleccionaremos el destino de la escritura, en el presente caso será para la DS2341.
5) Seleccionaremos el método de escritura, que puede ser: Puerto Serie, a través de un DAQmx o de un archivo donde previamente esté recogido el TEDS (Virtual TEDS).
6) Si hemos seleccionado DAQmx, seleccionaremos el canal físico que previamente habremos configurado en el MAX en el cual esté conectada nuestra memoria.
7) Si hemos seleccionado Puerto Serie, seleccionaremos el puerto serie correcto donde esté instalada nuestra memoria.
8) Si deseamos grabar en la memoria un Virtual TEDS, seleccionaremos el archivo donde se encuentra ubicado.
9) Por último le daremos al botón "Write TEDS data" para iniciar el proceso.
10) La salida "error out" nos reportará cualquier error que se produzca durante el transcurso del proceso así como una explicación de dicho error.

4.2.1 Resumen programación lectura de la memoria

En el programa de lectura de la memoria se diferencian las siguientes partes:

1) Selección del dispositivo por el cual se lee la memoria, en este caso puede ser DAQmx, Puerto Serie o Virtual TEDS.
2) Selección del puerto serie o del canal del DAQmx por el cual se realiza la adquisición.
3) Si se quiere recoger la información de un virtual TEDS, aquí se selecciona el archivo que lo contiene.
4) La lista de errores que genera el código así como una explicación de la fuente de dicho error.
5) Si la se ha realizado la adquisición correctamente y sin errores, aquí se mostrará toda la información contenida en el TEDS.

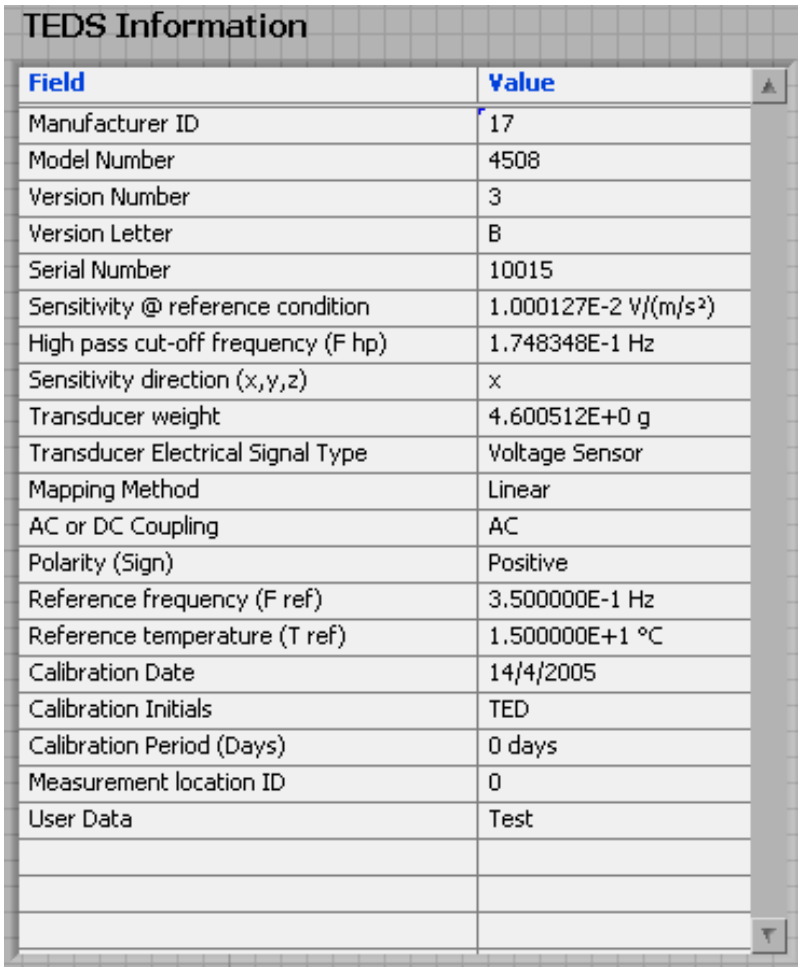


Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Resultados encontrados

Los resultados encontrados han sido los esperados y la escritura del TEDS en la memoria ha funcionado de manera satisfactoria. En nuestro caso en la memoria EEPROM se han grabado los datos del sensor 4508B003 el cual ya contiene un sensor TEDS de clase I en su interior sin embargo gracias a la escritura en la memoria hemos conseguido que ese sensor pueda ser adquirido mediante una caja de adquisición que no admitía TEDS de clase I.

Figura 26: Resultado final de la adquisición del sensor TEDS en LabView



En cualquier otro caso, se podría grabar el datasheet de cualquier sensor genérico y al ser una memoria de pequeñas dimensiones, se podría instalar en la misma caja del sensor o en cualquier

punto del cable. Además cabe decir que la memoria usada es una memoria de muy bajo coste. Y si bien es cierto que la caja de adquisición es un aparato costoso, como se puede observar en los programas adjuntos se podría realizar la lectura/escritura con un adaptador para 1-wire, los cuales son bastante más baratos.

La reconversión de los actuales sensores analógicos a sensores inteligentes implicaría un beneficio mucho mayor al coste que implica la conversión, no solamente en el aspecto económico, ya que siempre que hay un problema de error en la calibración el costo de reparación es alto por no hablar de las posibles consecuencias que los fallos pudieran generar; sino, los beneficios en cuanto a la seguridad que generarían estos sensores. Evidentemente en entornos como los ensayos en energía nuclear o ensayos peligrosos es crucial el buen funcionamiento de los sensores y de las magnitudes que ellos recogen.

La realización de la conversión de un sensor genérico a un sensor inteligente no es especialmente dificultosa y tampoco requiere de mucho tiempo. Además ante la imposibilidad de utilizar una memoria EEPROM, no hay que olvidar que la norma IEEE 1451.4 contempla la posibilidad de los "TEDS Virtuales" los cuales también pueden ser creados con los programas adjuntos.

En conclusión, los beneficios que comporta la norma IEEE 1451.4 y las facilidades de su aplicación en sensores genéricos hacen que la conversión sea prácticamente obligatoria ya que los increíbles beneficios y virtudes de la norma superan en mucho el posible costo de su aplicación.

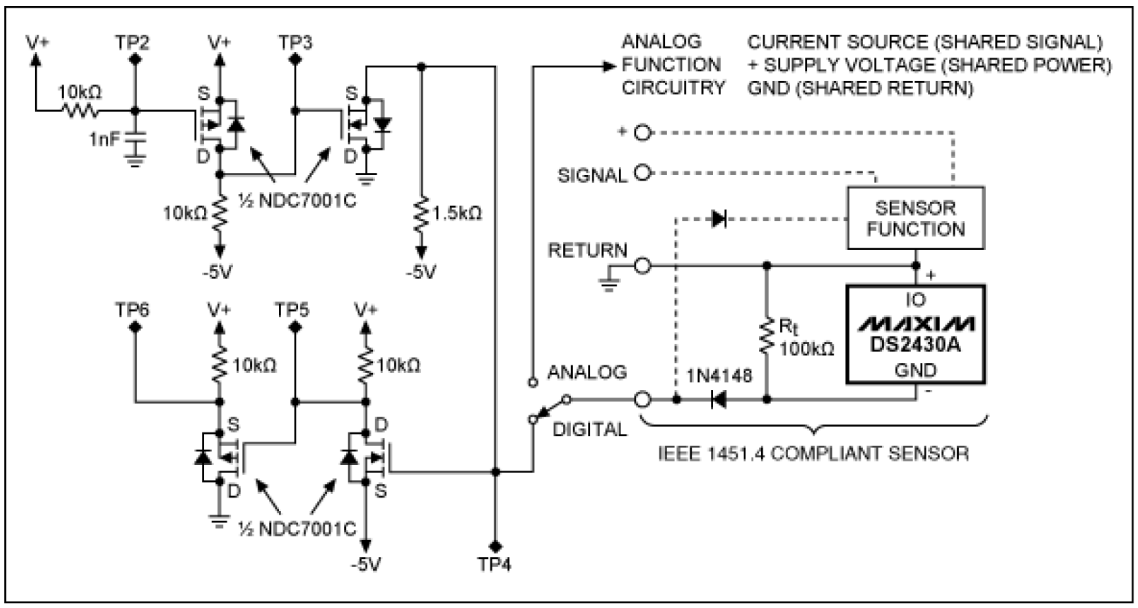
5.2 Mejoras propuestas

Si bien es cierto que el resultado del proyecto ha sido eficiente, hay algunas mejoras que se podrían realizar con los instrumentos y los materiales correctos.

En éste proyecto se ha optado por el desarrollo de un sistema TEDS Clase II ya que los instrumentos de los que se disponía no eran compatibles con TEDS Clase I, sin embargo en un futuro se podría pensar en el desarrollo de éste tipo de dispositivo, el cual es algo más complejo pero tiene la ventaja de no necesitar dos vías para la adquisición digital y analógica sino poder realizar ambas adquisiciones desde la misma vía (véase el apartado 2.2.2).

Por otra parte es evidente que para realizar una conversión de un sensor genérico en un TEDS Clase I el procedimiento es más invasivo teniendo que modificar el circuito del propio sensor para adaptarlo a la nueva norma.

Figura 27: Ejemplo de conexionado para el desarrollo de TEDS clase I



Por lo tanto ésta conversión solo se daría en casos especiales en los que una memoria EEPROM exterior no sea del todo viable (ya que no se pueda meter dentro de la caja del sensor o en algún punto del cable).

Capítulo 6: Glosario

6.1 Definiciones

Calibración: *procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento y lo que "debiera indicar" de acuerdo a un patrón de referencia con valor conocido.*

Magnitud: *Una magnitud física es un número o conjunto de números, resultado de una medición cuantitativa que asigna valores numéricos a algunas propiedades de un cuerpo o sistema físico, como la longitud o el área.*

Hardware: *todas las partes tangibles de un sistema informático, cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado.*

Software: *equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.*

Acelerómetro: *sensor de movimiento.*

Plug&Play: *tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante jumpers o software específico (no controladores) proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores.*

Transductor: *dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.*

Actuador: *aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.*

Termopar: *transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.*

Termistor: *sensor resistivo de temperatura.*

Bit: *Unidad mínima teórica de intercambio o almacenamiento de información, correspondiente a un dígito binario (cero o uno), que puede identificarse con un valor booleano (falso o verdadero).*

Protoboard: *tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y prototipado de circuitos electrónicos y sistemas similares.*

6.2 Acrónimos

USB: Universal Serial Bus

PC: Personal Computer

PVC: Policloruro de vinilo

RTD: resistance temperature detector

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

ROM: read-only memory

GPIB: General-Purpose Instrumentation Bus

VXI: VME eXtensions for Instrumentation

PXI: PCI eXtensions for Instrumentation

IMAQ: Integral Maquinaria

CAN: Controller Area Network

DAQ: Data acquisition

PCB: Printed Circuit Board

Capítulo 7: Bibliografía

Bosch, J.; Carmona, M. "Instrumentación inteligente". *Instrumentación Electrónica Avanzada.* Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Electrònica 2012

Jones, Charles H., "IEEE 1451.4 Smart Transducers Template Description Language," Mayo 2004.

Lee, K.; Nat. Inst. of Stand. & Technol., "IEEE 1451: A standard in support of smart transducer networking". Gaithersburg, MD, USA 2000

Nat. Inst. "LabView User Manual". USA April 2003

Song, E.Y.; Lee, K. "Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard - What is a smart transducer?", *Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE,* Páginas: 11 - 17 Volumen: 11, Abril 2008

"IEEE Std 1451.4-2004", *"Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators--Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats".* Institute of Electrical and Electronics Engineers 2004

Data Sheet, "DS2431 1024-Bit, 1-wire EEPROM" Maxim Integrated/Dallas Semiconductor, edición 2012

Data Sheet "Signal Conditioning: SC-2345/2350 Carrier User Manual" National Instruments USA Julio 2007

URL: "http://www.ni.com"

URL: "http://www.bksv.es/"